用氮更有效，稻作更環保-從幼苗期評估水稻氮利用效率

農試所遺傳生技組 曾清山 洪嘉佑
中研院分子生物研究所 王孟加

一、前言

因應氣候變遷挑戰與農業永續目標，如何在確保產量的同時減少碳足跡，已成為農業轉型的重要方向。水稻 (*Oryza sativa*) 是臺灣主要的糧食作物之一，提高單位面積的水稻產量對於農業用地利用效率和確保糧食安全至關重要。然而多年來高氮肥施用雖有助於增產，卻也帶來土壤污染、溫室氣體排放等環境問題。農業試驗所與中央研究院合作，透過創新方式在水稻幼苗期分析氮利用效率(Nitrogen Use Efficiency)，嘗試找出既能減少肥料使用，又能維持良好產量的潛力品種。

二、為什麼關注氮利用效率？

臺灣水、旱田氮肥施用量約73萬公噸，以各種氮肥含氮量計算，硫酸銨21%、尿素46%、硝酸銨鈣20%、複合肥料平均17.3%，總施氮含量13.8萬公噸 (農業統計年報，2023)。氮是水稻最重要的營養元素之一，也是提高水稻產量的有效方法。雖然政府長年推行「合理化施肥」，不過絕大多數農民為提高產量而增加肥料用量，還是覺得「有氮有保庇」，養成了「寧濫勿缺」的施肥習慣。然而研究顯示作物的氮利用效率低於33%，不到一半所施用的氮肥會表現在產量上，且氮肥施用會有「報酬漸減」的效應，會隨氮肥用量之增加而減少的趨勢。過量的施用氮肥除增加生產成本，亦影響作物品質和造成環境污染，並且在施用氮肥時，使氮素進入土壤，土壤有效性氮和脫氮量增加，造成溫室效應氣體氧化亞氮 (N_2O) 的直接與間接排放。因此提升作物氮利用效率，是永續農業中需要迫切解決的挑戰，除可減輕作物生產的經濟和環境成本外，亦能有效減少溫室氣體排放。

為了提高氮利用效率，必須提高氮吸收量，即使在氮素供應較少的情況下也能增加乾物質和穀物產量，因此估算和提升氮利用效率是作物育種計畫的目標之一。對於估算氮利用效率，在不同研究領域中，有不同的定義和評估方

作　　者：曾清山副研究員
連絡電話：04-23317312

DOI：10.30248/TSQBTARI.202603_(145).0001

法。以水稻而言，農藝學家以施用1公斤氮素，能生產多少公斤稻穀來表示氮利用效率。氮利用效率涉及遺傳和環境因素的複雜性狀，且主要受到氮素吸收、同化和再利用效率三個因素的影響。水稻氮利用效率受品種、肥料型態、施氮量、水分與管理方式等多重因素影響 。然而透過施肥技術與田間管理容易受環境影響，且需要投入較多的人力。已有研究證實不同水稻品系間氮利用效率具有顯著遺傳差異，透過品種選育是提高水稻氮利用效率最有效方式之一 (Singh et al. 1998)。找出與氮利用效率相關的植物性狀和基因型，對於開發高氮利用效率品種的育種計畫非常重要，是提升產量及減少生產成本與環境汙染的重要策略，對農業的永續發展及環境保育有非常重要的意義。

三、水稻幼苗期如何預測未來表現？

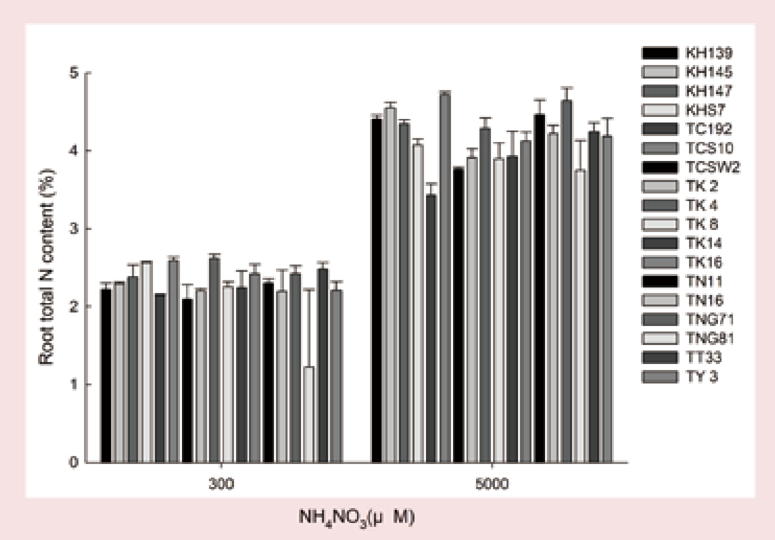
自然環境中氫、氮、氧、碳、硫等元素之同位素比值穩定存在，生物體會因環境、代謝等因素造成元素穩定同位素比值的微小差異。藉由此特性，同位素比值質譜儀 (Isotope Ratio Mass Spectrometer) 因其具備分辨物質間微小差異之能力，近年來被廣泛應用於農業及環境之溯源分析。例如農產品鑑定，透過稻米碳、氧同位素組成的測定，可幫助我們鑑別稻米可能的產地 (Kelly *et al*. 2002)。在浸水之稻田中，土壤極易變成厭氧狀態，有機質含量豐富、氧化還原電位低，容易產生CH_4，利用同位素比值質譜儀可估算各種來源的溫室效應氣體CH_4對大氣的貢獻量 (Nakagawa *et al*. 2002)。

圖一、水稻推廣品種幼苗在300 uM (左)、5000 uM(右) NH_4NO_3濃度水耕液栽培情形。

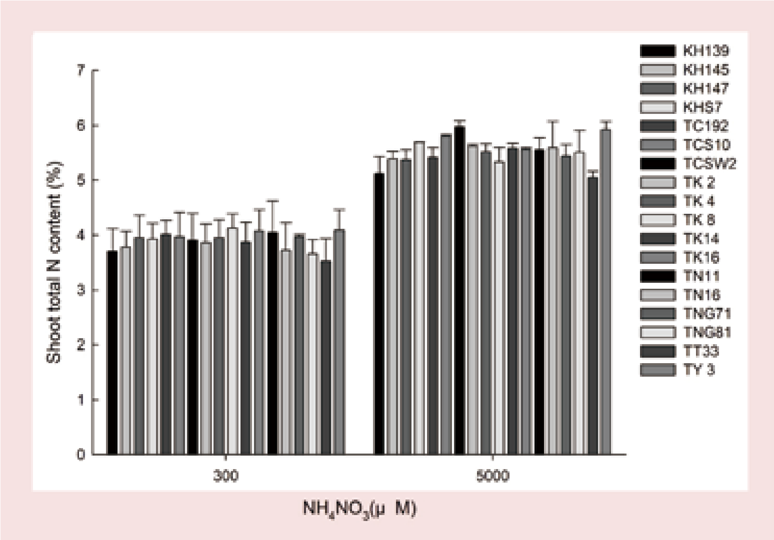
DOI：10.30248/TSQBTARI.202603_(145).0001

水稻品種對氮肥反應最終表現在稻穀產量上，在高氮利用效率的水稻育種中，除了調查稻穀產量外，亦可從水稻各生育期階段評估氮肥吸收量和乾物質生產效率，瞭解其對產量之影響。植株氮含量反應了單位生物量中氮累積量的多少，是品種對氮素吸收能力的評估。稻穀產量、氮吸收總量、收穫期氮利用效率和氮轉移效率在不同基因型間有著顯著著差異 (Renante *et al*. 2009)。傳統上評估水稻品種的氮利用效率需等到成熟收穫後才評估，利用元素分析儀和同位素比值質譜儀，分析不同氮濃度下幼苗期的氮吸收表現，評估國內水稻品種幼苗期氮肥轉換效率，了解這些不同品種間的差異性，提供水稻高氮利用效率品種選育參考。

試驗中選用臺灣目前推廣的多個水稻品種，在低氮濃度300 μM NH_4NO_3和高氮濃度5000 μM NH_4NO_3水耕液栽培20天後(圖一)，利用元素分析儀測定根部和地上部的總含氮量。結果顯示，無論根部(圖二)或地上部(圖三)，品種間在高低氮條件下的氮累積差異明顯。在高氮處理下根部平均總氮含量為 4.16%，遠高於低氮處理的 2.27%。表現最佳品種為台中秈10號(TCS10)，台農81號(TNG81)在低氮下僅1.23%，表現最差。在高氮



圖二、不同水稻品種在300、5000uM NH_4NO_3濃度水耕液栽培下幼苗根部總含氮量。



圖三、、不同水稻品種在300、5000uM NH_4NO_3濃度水耕液栽培下幼苗地上部總含氮量。

DOI：10.30248/TSQBTARI.202603_(145).0001

處理下地上部平均總氮含量為5.52%，低氮為3.90%。高氮下台中秈糯2號(TCSW2)表現最佳(5.98%)，台東33號(TT33)最低(5.05%)；低氮下台梗8號(TK8)達4.13%，表現出色。由上述結果建議TCS10具備優異的根部吸收能力與穩定的氮轉運能力，是潛在的高氮利用效率品種。TK8在低氮下仍能維持較高氮累積，適合低投入生產模式。硝酸鹽是大多數植物的主要氮源，硝酸鹽吸收能力是影響植物生長的因素之一。因此，除了用元素分析儀測定總含氮量外，進一步可應用同位素比值質譜儀，以 $^{15}NO_3^-$ 吸收來分析水稻品種的硝酸鹽吸收能力和根部硝酸鹽運輸能力，將能更準確預測水稻幼苗期的氮利用效率。

四、用對品種，減肥又減碳！

可以通過不同的策略來提高水稻的氮素利用效率，包括使用緩釋氮肥、分次施用氮肥、使用葉色圖施用氮肥以及採用高氮利用效率的水稻品種。這項研究的意義，在於農民或政策單位在選擇栽培品種時，可依據幼苗期氮效率表現，挑選出在低氮環境下仍能穩定生長的品種。這不但有助於節省肥料成本，還能減少氮肥過量所造成的環境衝擊，是邁向低碳農業的實際做法。未來將持續應用同位素比值質譜儀進行水稻品種氮效率評估，並整合更多生理與分子指標，強化高氮利用效率品種的篩選。

五、參考文獻

Kelly, S., M. Baxter, S. Chapman, C. Rhodes, J. Dennis, and P. Brereton. 2002. The application of isotopic and elemental analysis to determine the geographical origin of premium long grain rice. Eur. Food Res. Technol. 214: 72–78.

Nakagawa, F., N. Yoshida, A. Sugimoto, E. Wada, T. Yoshioka, S. Ueda, and P. Vijarnsorn. 2002. Stable isotope and radiocarbon compositions of methane emitted from tropical rice paddies and swamps in Southern Thailand. Biogeochemistry 61: 1–19.

Renante, D.T., Ozawa, S., Miyamoto, N., Ookawa, T., Motobayashi, T., and Hirasawa, T. 2009. Performance of a high-yielding modern rice cultivar takanali and several old and new cultivars grown with and without chemical fertilizer in a submerged paddy field. Plant Prod. Sci. 12: 365–380.

Singh, U., Ladhab, J.K., Castilloa, E.G., Punzalanb, G., Tirol-Padreb, A., and Duqueza, M.. 1998. Genotypic variation in nitrogen use effciency in medium- and long-duration rice. Field Crops Research 58:35–53.

DOI：10.30248/TSQBTARI.202603_(145).0001